



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO**

**AVALIAÇÃO DE FONTE ALTERNATIVA DE FÓSFORO
PARA ADUBAÇÃO DO SISTEMA DE SUCESSÃO SOJA-
SORGO GRANÍFERO**

EDDY DA SILVA

Rio Verde – GO

Setembro – 2024



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

AVALIAÇÃO DE FONTE ALTERNATIVA DE FÓSFORO PARA ADUBAÇÃO DO SISTEMA DE SUCESSÃO SOJA- SORGO GRANÍFERO

EDDY DA SILVA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, como parte dos requisitos para obtenção do grau de mestre em Bioenergia e grãos.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Castoldi – IF Goiano – Campus Rio Verde
Coorientador: Prof. Dr. Aurélio Rubio Neto – IF Goiano – Campus Rio Verde

Rio Verde – GO
Setembro – 2024

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

D111a Da Silva, Eddy
AVALIAÇÃO DE FONTE ALTERNATIVA DE FÓSFORO
PARA ADUBAÇÃO DO SISTEMA DE SUCESSÃO
SOJA-SORGO GRANÍFERO / Eddy Da Silva. Rio Verde 2025.
25f. il.
Orientador: Prof. Dr. Gustavo Castoldi.
Coorientador: Prof. Dr. Aurélio Rubio Neto.
Dissertação (Mestre) - Instituto Federal Goiano, curso de
0233154 - Mestrado Profissional em Bioenergia e Grãos -
Integral (Campus Rio Verde).
1. Adubação fosfatada. 2. Fosfato monoamônio. 3. Rocha apatita.
4. Produtividade de grãos. 5. Fonte alternativa. I. Título.



TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

Tese (doutorado)

Dissertação (mestrado)

Monografia (especialização)

TCC (graduação)

Artigo científico

Capítulo de livro

Livro

Trabalho apresentado em evento

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Matrícula:

Título do trabalho:

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: / /

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

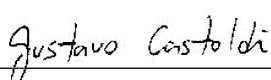
- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Local

/ /
Data


Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:


Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 99/2024 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
ATA Nº 92 (NOVENTA E DOIS)
BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos trinta dias do mês de setembro do ano de dois mil e vinte e quatro, às 9h00min (nove horas), reuniram-se os componentes da banca examinadora em sessão pública realizada no Auditório do Pavilhão da Pesquisa e Pós-Graduação, para procederem a avaliação da defesa de Dissertação, em nível de mestrado, de autoria de **EDDY DA SILVA**, discente do Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Gustavo Castoldi, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida ao autor da Dissertação que, em 30 min, procedeu a apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o examinado, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos, e procedida às correções recomendadas, a Dissertação foi APROVADA, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM BIOENERGIA E GRÃOS**, na área de concentração Agroenergia, pelo Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGBG da versão definitiva da Dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, a defesa perderá a validade, se não cumprida essa condição, em até **60 (sessenta) dias** da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa Dissertação em periódicos de circulação nacional e/ou internacional, após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Dissertação de Mestrado, e para constar, foi lavrada a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada eletronicamente pelos membros da Banca Examinadora.

Membros da Banca Examinadora

Nome	Instituição	Situação no Programa
Gustavo Castoldi	IF Goiano – Campus Rio Verde	Presidente
Aurélio Rubio Neto	IF Goiano – Campus Rio Verde	Membro interno
Sihélio Júlio Silva Cruz	IF Goiano – Campus Iporá	Membro interno
Carlos Ribeiro Rodrigues	IF Goiano – Campus Rio Verde	Membro externo

Documento assinado eletronicamente por:

- Aurelio Rubio Neto, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 30/09/2024 14:20:46.
- Sihelio Julio Silva Cruz, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 30/09/2024 14:11:25.
- Carlos Ribeiro Rodrigues, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 30/09/2024 13:31:11.
- Gustavo Castoldi, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 30/09/2024 11:58:35.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 27/09/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 638297

Código de Autenticação: 4d96891147



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Rio Verde

Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970

(64) 3624-1000



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação a Deus, cuja presença senti ao meu lado durante toda uma jornada de pesquisa. Expresso minha profunda gratidão aos amigos e profissionais João Victor e Talita Matos, cujo apoio e experiência foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Gustavo Castoldi, manifesto minha sincera gratidão por sua orientação e contribuições, que foram essenciais desde o início até a conclusão deste trabalho. Ao professor Aurélio Neto, agradeço pelo incentivo constante, que foi um impulso crucial para alcançar este marco.

À minha família, especialmente aos meus pais, expresso minha imensa gratidão. Aos meus avós, agradeço por serem uma fonte constante de encorajamento desde o início.

Por fim, dedico este trabalho à minha querida amiga Tatiane, cuja amizade e apoio técnico foram inestimáveis durante todo o processo. Sou imensamente grato por tudo o que você fez, pois isso fez toda a diferença neste percurso.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente sou grato à Deus, por ter me mantido na trilha certa durante este projeto de pesquisa, proporcionando-me saúde e forças para chegar até o final.

Sou grato à minha família pelo apoio que sempre me deram durante toda a minha vida.

Deixo um agradecimento especial ao meu orientador, Gustavo Castoldi, pelo incentivo e pela dedicação ao seu escasso tempo ao meu projeto de pesquisa.

Também quero agradecer ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano e a todos os professores do meu curso pela elevada qualidade do ensino oferecido.

Gratidão a vovô, Emanuel Silva, por sempre estar ao meu lado, pelos conselhos, apoio e por me fazer ter confiança nas minhas decisões.

Agradeço ao meu querido irmão, Wander Santos, que sempre esteve ao meu lado durante o meu percurso acadêmico.

Aos meus irmãos Elly, Elisonaldo, Elaine e Luís, pela amizade e atenção dedicadas quando sempre precisei.

A todos os meus colegas do mestrado que compartilharam os inúmeros desafios que enfrentamos, sempre com um espírito colaborativo.

Sou grato ao meu amigo, mentor e pai, Gilberto Braga, que sempre me ajudou com sua vasta experiência desde o início deste projeto de pesquisa.

Também sou grato aos funcionários do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, que contribuíram direta e indiretamente para a conclusão deste trabalho.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

AValiação DE FONTE ALTERNATIVA DE FÓSFORO PARA ADUBAÇÃO DO SISTEMA DE SUCESSÃO SOJA-SORGO GRANÍFERO

O objetivo foi avaliar a produtividade do sistema soja-sorgo em resposta à aplicação de um fertilizante fosfatado parcialmente acidulado, em diferentes doses e modos de aplicação. O estudo foi conduzido em São João da Paraúna – GO, em solo de textura argilosa, com teor de $3,70 \text{ mg dm}^{-3}$ de P (Mehlich) na camada de 0-20 cm e $0,90 \text{ mg dm}^{-3}$ na camada de 20-40 cm. O experimento abrangeu três cultivos subsequentes, iniciando com a safra de soja 2021/22, seguida pelo cultivo de sorgo granífero na safra 2022 e soja na safra 2022/23. Os tratamentos incluíram a aplicação de um produto comercial à base de rocha fosfática apatita (Arkophos Liber), em aplicação isolada e associada ao MAP, nas doses de 1000, 2000 e 3000 kg ha⁻¹, além de um tratamento controle sem aplicação de P. As aplicações foram realizadas no pré-plantio, com incorporação por gradagem e/ou como aplicação de manutenção a lanço em doses únicas durante a safra 2021/2022. Os tratamentos com Arkophos Liber, aplicados na modalidade de correção incorporada com grade de 28", resultaram em produtividade de grãos de soja semelhante à obtida com MAP na dose de 200 kg de P₂O₅ ha⁻¹. Esses resultados indicam que o Arkophos Liber pode ser uma alternativa viável na adubação fosfatada, desde que corretamente incorporado ao solo e aplicado na dose adequada. Quando aplicado como manutenção superficial a lanço, o Arkophos Liber demonstrou maior eficiência na dose de 3000 kg ha⁻¹, resultando em um incremento de 4,43 sacas por hectare em comparação ao tratamento controle. Este achado reforça a importância da escolha da dose correta para otimizar a eficiência do produto nessa modalidade de aplicação.

Palavras-chave: Adubação fosfatada; Fosfato monoamônio; Rocha apatita; Produtividade de grãos.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

ABSTRACT

The objective was to evaluate the productivity of the soybean-sorghum system in response to the application of a partially acidulated phosphate fertilizer, at different doses and modes of application. The study was conducted in São João da Paraúna – GO, in clayey soil, with a phosphorus content of 3.70 mg dm³ (Mehlich) in the 0-20 cm layer and 0.90 mg dm³ in the 20-40 cm layer. The experiment included three consecutive crops, starting with the 2021/22 soybean harvest, followed by grain sorghum cultivation in the 2022 season, and soybean in the 2022/23 harvest. The treatments included the application of a commercial product based on apatite phosphate rock (Arkophos Liber), applied alone and in combination with MAP, at doses of 1000, 2000, and 3000 kg ha⁻¹, in addition to a control treatment without phosphorus application. The applications were conducted pre-planting, with incorporation through harrowing and/or as maintenance application broadcasted in single doses during the 2021/2022 season. The treatments with Arkophos Liber, applied in the incorporated correction mode at a 28° angle, resulted in soybean grain productivity similar to that obtained with MAP at a dose of 200 kg of P₂O₅ ha⁻¹. These results indicate that Arkophos Liber can be a viable alternative in phosphate fertilization, provided it is correctly incorporated into the soil and applied at the appropriate dose. When applied as a surface maintenance broadcast, Arkophos Liber demonstrated greater efficiency at a dose of 3000 kg ha⁻¹, resulting in an increase of 4.43 sacks per hectare compared to the control treatment. This finding reinforces the importance of selecting the correct dose to optimize the efficiency of the product in this mode of application.

Keywords: Phosphate fertilization; Monoammonium phosphate; Apatite rock; Grain productivity.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 FÓSFORO NO SOLO	2
2.2 FONTES DE FÓSFORO UTILIZADAS NA AGRICULTURA.....	5
2.3 ABORDAGENS INOVADORAS NA SUPLEMENTAÇÃO DE FÓSFORO PARA OTIMIZAÇÃO AGRÍCOLA	8
2.4 PROCESSO ARKOPHOS	10
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3.1 ÁREA EXPERIMENTAL	11
3.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	12
3.3. INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	13
3.4. AVALIAÇÕES	14
3.4.1. AVALIAÇÃO DA CULTURA DA SOJA.....	14
3.4.2. AVALIAÇÃO DA CULTURA DO SORGO	14
3.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
5. CONCLUSÃO.....	20
REFERÊNCIAS	21



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

1 INTRODUÇÃO

A fertilidade do solo desempenha um papel crucial na produtividade agrícola, e o fósforo, um nutriente vital para o crescimento das plantas, é essencial; sua escassez pode limitar a produtividade, tornando fundamental a pesquisa de alternativas como a apatita. A crescente preocupação com a fertilidade do solo e a busca por soluções sustentáveis na agricultura reforçam a necessidade de estudos que avaliem fontes alternativas de fósforo.

A apatita, pertencente à classe dos fosfatos, é amplamente utilizada como base para a produção de fertilizantes fosfatados devido à sua capacidade de liberar gradualmente fósforo no solo, proporcionando um suprimento constante desse nutriente essencial às plantas. Esse mecanismo de liberação impacta positivamente a disponibilidade de fósforo, a eficiência de absorção e o crescimento vegetativo das plantas. Assim, compreender melhor sua aplicação direta e seu desempenho em sistemas produtivos diversificados pode contribuir significativamente para a gestão nutricional na agricultura moderna.

Diante do potencial da apatita para melhorar a fertilidade do solo, este estudo busca avaliar os atributos de produtividade do cultivo do sorgo em sucessão à soja, além de analisar a resposta do sistema produtivo (soja-sorgo) à aplicação de um fertilizante fosfatado parcialmente acidulado, considerando diferentes doses e modos de aplicação. Dessa forma, busca-se fornecer informações práticas sobre a eficácia da apatita, contribuindo para o aprimoramento do manejo nutricional e a otimização do uso de recursos naturais. Além disso, espera-se que os resultados desta pesquisa auxiliem no desenvolvimento de práticas agrícolas mais sustentáveis, minimizando impactos ambientais e maximizando a eficiência da adubação fosfatada.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 FÓSFORO NO SOLO

O fósforo (P) é elemento essencial para a nutrição das plantas, sendo classificado como macronutriente em função da quantidade com que é demandado. O P integra importantes componentes vitais, destacando-se fosfolipídeos, que compõem as membranas de todas as células, moléculas de ATP, que fornecem energia para o funcionamento metabólico, e ácidos nucleicos, que carregam e expressam toda a informação genética de um indivíduo (MACHADO, 2021).

Limitações na disponibilidade de P no início do ciclo vegetativo podem causar restrições ao desenvolvimento das plantas, as quais podem não ser superadas mesmo com o aumento posterior no fornecimento desse nutriente para níveis adequados. A elongação das raízes, redução de peso, produção e acúmulo de antocianina e secreção de enzimas fosfatases são algumas das alterações que têm sido observadas em plantas com deficiência de fósforo (VASCONSELOS et al., 2021).

Para compreender a sua dinâmica, o P do solo é dividido em dois grandes grupos, o fósforo inorgânico (Pi) e o fósforo orgânico (Po), dependendo do tipo de compostos envolvidos e sua fonte de origem. O grupo fósforo inorgânico (Pi) pode ser dividido em duas partes: P de minerais primários e P adsorvido nos colóides do solo. O grupo de Pi forma diferentes compostos com vários graus de estabilidade química. Nas formas inorgânicas, como H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} são mais solúveis e disponíveis às plantas (LEITE et al., 2016).

O Pi liga-se aos grupos funcionais silanol e aluminol nas bordas das argilas de silicato e ao radical hidroxila dos oxihidróxidos de ferro e alumínio, e também é adsorvido aos materiais orgânicos do solo por meio de pontes catiônicas. A adsorção de fosfato em oxihidróxido de ferro e alumínio ocorre principalmente em formas com baixa cristalinidade e alto desequilíbrio de carga (SOUZA et al., 2006). Essa adsorção ocorre onde grupos OH e OH^{2+} ligados uma ou três vezes ao metal (Fe ou Al) e são trocados por fosfato.

O grau de adsorção do P depende da quantidade de componentes que podem adsorver moléculas neutras ou carregadas. Em solos de regiões tropicais e subtropicais, os óxidos de ferro pouco cristalizados, a substituição parcial de ferro por alumínio, e, em menor grau, os



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

óxidos bem cristalizados e a caulinita, são os principais responsáveis por esse específico. Assim, em solos mais ácidos, a adsorção de fósforo aumenta, diminuindo sua disponibilidade para as plantas (SANTOS et al., 2008).

O Po, principalmente ligado à matéria orgânica, pode representar de 5 a 80% do P total do solo e deve ser considerado em estudos de sua dinâmica e biodisponibilidade, uma vez que constitui uma importante fonte de fósforo para plantas em solos tropicais (RHEINHEIMER; ANGHINONI, 2003). Esse fósforo orgânico é derivado de resíduos vegetais decompostos no solo, tecidos microbianos e seus produtos de manipulação (MARTINAZZO et al., 2007). Devido à grande variedade de compostos orgânicos presentes no solo, muitas formas de Po permanecem não identificadas. As formas mais importantes já descritas incluem os fosfatos de inositol, que representam 10–80% do Po total, fosfolipídios (0,5–7%), ácidos nucleicos (aproximadamente 3%) e outros ésteres de fosfato (>5%) (BATISTELLA et al., 2013). A composição desses compostos orgânicos depende de suas propriedades químicas e de suas interações com frações minerais do solo. Muitos desses compostos são usados por microrganismos como fonte de carbono e elétrons, resultando em mineralização e consequente disponibilização de P. Compostos como os ácidos nucleicos, que possuem ligações diéster, e os fosfolipídios apresentam estruturas químicas que facilitam a manipulação, sendo facilmente mineralizados. Por essa razão, acumulam-se em pequenas quantidades no solo (NUNES et al., 2007).

Do ponto de vista da fertilidade do solo, o P é classificado de acordo com a sua facilidade de reposição na solução do solo, independentemente da sua natureza química. Novais et al. (2007) explica as frações de P no solo e sua dinâmica, o P na solução do solo representa a menor fração e é aquela realmente disponível para absorção das plantas. Quando o material de origem é orgânico o P torna-se disponível por meio de mineralização enquanto que quando é de fonte mineral torna-se disponível por meio de solubilização.

O P-lábil consiste em uma fração de P que não estão prontamente disponíveis para absorção, mas que mantém relação de equilíbrio com a solução, adsorvido aos óxidos de ferro e alumínio ou pelo P precipitado com cátions (Al^{3+} , Ca^{2+} e Fe^{3+}), disponibilizando P à medida em que ele é absorvido (MACHADO, 2021).

O P torna-se não lábil a partir da sua fixação nos colóides de argila compostos por



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. São vários os tipos de argila, mas os oxi-hidróxidos e óxidos mistos de ferro e alumínio são predominantes nos solos brasileiros. Os manejos mais adotados visando à diminuição da fixação ou precipitação de fósforo no solo, e consequentemente o aumento do seu uso pelas plantas, são a correção da acidez do solo, prática da fosfatagem, adição de matéria orgânica ao solo, uso de plantas mais eficientes em extrair fósforo, aumento da vida microbiana do solo e aplicação localizada do fertilizante. A correção da acidez faz com que haja aumento das cargas negativas na superfície das argilas e matéria orgânica, aumentando a repulsão entre o fosfato e os coloides adsorventes, além de precipitar Fe e Al.

Além da correção do solo, em sistemas naturais sem adição de P, a sua disponibilidade está intimamente relacionada com a ciclagem das formas orgânicas, como destacado por Novais e Smith (1999). Sistemas de manejo, como rotações de culturas, adubação verde, adubação nitrogenada e o sistema de plantio direto, incrementam as fontes de matéria orgânica no solo, promovendo a manutenção de formas de P menos lábeis e, consequentemente, prolongando sua disponibilidade para as plantas (ASSUNÇÃO, 2020; LEITE et al., 2016).

No sistema de plantio direto, a redistribuição do P ocorre de diferentes formas durante a fertilização. É comum a formação de uma camada superficial enriquecida em nutrientes, especialmente fósforo, devido à adição contínua de fertilizantes nessa camada, à ausência de mobilização do solo e à redução das taxas de erosão (NUNES et al., 2011). A adsorção inicial de P ocorre em locais com maior capacidade de retenção (menor instabilidade), enquanto o excedente é transferido para frações menos fortemente retidas, que apresentam maior disponibilidade para as plantas quando comparadas aos sistemas convencionais de cultivo.

Nos solos da região do Cerrado, os teores de P na solução são geralmente muito baixos. Essa característica, aliada à alta capacidade desses solos de reter correspondentes na fase sólida, representa uma das principais limitações para a previsão de sistemas agrícolas rentáveis sem o uso de adubação fosfatada. Nesse contexto, a adubação fosfatada desempenha um papel essencial ao relatar o P extraído pelas culturas durante as colheitas (SANTOS et al., 2008).

A relevância desta discussão é no fato de que o manejo adequado do fósforo é um dos pilares da sustentabilidade agrícola em regiões tropicais, como o Cerrado brasileiro. Compreender os processos que regem a disponibilidade de P nesses sistemas é crucial para



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

desenvolver práticas agrícolas mais eficientes e reduzir a dependência de fertilizantes químicos, contribuindo tanto para a produtividade quanto para a preservação ambiental.

2.2 FONTES DE FÓSFORO UTILIZADAS NA AGRICULTURA

As reservas de minério (rocha fosfática) oficialmente aprovadas no País, em 2008, são de 4.769 milhões de toneladas (Mt). Desse montante, cerca de 2.510 Mt representam as reservas medidas, 1.107 Mt as indicadas, com 231 Mt e 106 Mt, respectivamente, em termos de P₂ O₅ contido. Desse modo, as reservas brasileiras de fosfato somam 337 Mt de P₂ O₅ contido (medida + indicada) o que representa cerca de 0,72% das reservas mundiais, quando comparado com os dados disponibilizados pelo USGS (BALANÇO MINERAL, 2001).

As rochas fosfatadas podem se originar de magma vulcânico, as metamórficas que originam as rochas a partir de uma modificação de rochas pré-existentes devido a temperatura e pressão. E, as sedimentares formadas em função do acúmulo e consolidação de materiais degradados de rochas pré-existente, junto a materiais orgânicos que são os fosfatos reativos (SANTOS et al., 2008).

Segundo Machado (2022), as principais jazidas de rocha fosfática no Brasil se encontram nas regiões Sudeste e Centro-Oeste do país, com destaque para os fosfatos naturais de Patos de Minas (MG), Araxá (MG), Catalão (GO), Jacupiranga (SP), Abaeté (MG) e Alvorada (SP). Mais recentemente, foi descoberto um depósito no município de Lavras do Sul (RS).

As rochas fosfáticas em geral são classificadas, em relação à sua origem, em vulcânicas (apatitas) e sedimentares (fosforitas e bauxitas fosfóricas). As que possuem origem vulcânica têm alto grau de cristalização, e devido a isso são pouco solúveis; por outro lado, as rochas de origem sedimentar são mais solúveis, de acordo com o índice “absolute citrate solubility” (BASAK et al., 2019).

A maior parte da rocha fosfatada (cerca de 70%) destinada à produção de fertilizantes é utilizada na produção de ácido fosfórico. O ácido fosfórico é normalmente obtido por via húmida através da decomposição da rocha fosfatada com ácidos orgânicos, como, por exemplo o ácido sulfúrico, nítrico ou clorídrico (MONTEIRO; DUARTE, 2021). Sendo assim este método de produção é mais rápido, porém mais agressivo ambientalmente pela alta carga



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

química utilizada.

Cerca de 90% do ácido fosfórico produzido a nível mundial é utilizado na fabricação de fertilizantes: fosfatos diamônio - DAP (38%), monoamônio - MAP (29%), superfosfato triplo (8%) e para outros fertilizantes 15% (MONTEIRO; DUARTE, 2021). Estes possuem ampla utilização pois, os superfosfatos simples e triplo, MAP e DAP têm mais de 90% do P total solúvel em CNA (Citrato Neutro de Amônio), dissolvem-se rapidamente no solo e são praticamente equivalentes quanto à capacidade de fornecimento de P para as plantas.

A rocha fosfatada pode também ser tratada termicamente (via seca), obtendo-se neste caso os termosfosfatos que não apresentam o fósforo solúvel em água, mas apenas em ácido cítrico com menor biodisponibilidade. O processo de produção ocorre com o tratamento térmico da rocha fosfatada a temperaturas de pelo menos 1200°C na presença de aditivos (por exemplo com serpentina obtendo-se o termofosfato magnesiano). Neste processo é destruída a estrutura cristalina da apatita, tornando-a mais facilmente meteorizável, e aumentando assim a biodisponibilidade do P. Os termofosfatos por terem sofrido reação alcalina são indicados para solos ácidos tendo efeito como corretivos da acidez, e proporcionando uma fonte de fósforo de liberação lenta (MONTEIRO; DUARTE, 2021).

Além destes podemos contar também com os fosfatos naturais que são concentrados a base de apatita obtidos a partir de minérios fosfáticos, que podem, ou não passar por processos físicos de concentração, como lavagem e/ou flotação, para separá-los dos outros minerais na jazida. Estes minerais naturais também se formaram sob diferentes regimes geológicos – ígneos, metamórficos ou sedimentares (MACHADO, 2022).

O fosfato natural é um produto que pode apresentar diferentes níveis de solubilidade, sendo que, geralmente, os produtos que apresentam maior solubilidade são os de origem sedimentar e de natureza não-cristalina. Os que apresentam menor solubilidade (provenientes de rochas ígneas, que apresentam elevado grau de cristalinidade), de modo geral possuem maior efeito residual. A legislação brasileira atual indica que, para ser denominado fosfato natural, um determinado fertilizante mineral simples obtido por moagem e peneiramento de rocha fosfática deve apresentar um teor mínimo total de P_2O_5 de 5%, sendo 15% do teor total solúvel

em ácido cítrico a 2% na relação 1:100. Quanto à granulometria, as partículas devem passar, no mínimo, 85% em peneira 0,075 mm (ABNT 200).



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Apesar de seu uso no Brasil ser muito inferior em relação às fontes convencionais mais solúveis, a prática de aplicação direta de fosfato natural como fertilizante apresenta algumas vantagens, como processamento mínimo e com isso menor produção de gases de efeito estufa e resíduos poluentes, podem ser usados na agricultura orgânica, eficiência em termos de recuperação de P pelas plantas, o fosfato natural geralmente é o mais barato, nutrientes secundários, como cálcio, magnésio e manganês; além de micronutrientes, como zinco e molibdênio. Ademais, podem contribuir para redução da saturação por alumínio em solos ácidos, pelo aporte de bases, como cálcio e magnésio (MACHADO, 2022).

Praticamente toda a adubação fosfatada da soja é realizada utilizando os fosfatos totalmente acidulados, que possuem elevada solubilidade em água, e quando aplicados no solo podem levar ao aumento demasiado da disponibilidade de P em um momento de baixa demanda pela cultura. Em alternativa, poder-se-ia associar a utilização dos superfosfatos com o uso dos fosfatos de rocha visando manejar a adubação, por meio da solubilidade diferenciada dessas fontes, de forma que minimizasse as perdas do P aplicado (OLIVEIRA JÚNIOR, 2007). Uma vez que cada fonte possui dependendo de como foi produzida um nível de solubilidade e cada solo responde a isso.

Uma das opções para aumentar a eficiência de fertilizantes fosfatados é aplica-lo de modo adequado no solo. A escolha dessa prática dependerá do solo, fonte de P, espécie a ser cultivada, sistema de preparo e clima. Que podem ser a lanço, na superfície com ou sem incorporação. Dessa forma, recomenda-se em solos de baixa disponibilidade de P aplicar doses superiores a 100 ha^{-1} de P_2O_5 para grandes culturas (SOUSA; LOBATO, 2003). Para fontes de baixa solubilidade em água, como os fosfatos naturais reativos farelados, o ideal é a aplicação a lanço, incorporando-os ao solo, pois isso acelera seu processo de solubilização. Conhecendo-se o produto e suas solubilidades, pode-se, de maneira geral, prever sua eficiência agrônômica e a melhor forma de utilização.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

2.3 ABORDAGENS INOVADORAS NA SUPLEMENTAÇÃO DE FÓSFORO PARA OTIMIZAÇÃO AGRÍCOLA

Atualmente o Brasil é responsável por 8% do consumo global de fertilizantes, ocupando a quarta posição, atrás apenas da China, Índia e dos Estados Unidos. Soja, milho e cana-de-açúcar respondem por mais de 73% do consumo de fertilizantes no país (MAPA, 2022). No entanto, mais de 80% dos fertilizantes utilizados no país são importados, evidenciando um elevado nível de dependência externa em um mercado dominado por poucos fornecedores, a exemplo da Rússia que em 2022 representava 23% dessas importações. A Rússia atualmente é o maior exportador de NPK mundial", observa Marcelo Mello, diretor de fertilizantes da consultoria StoneX (2022) e com tensões de guerra no país colocaram em risco o abastecimento de fertilizantes globalmente.

Essa dependência deixa o agronegócio vulnerável às oscilações do mercado internacional de fertilizantes. A diminuição da dependência externa por meio do aumento da produção nacional, do desenvolvimento de tecnologias apropriadas ao ambiente tropical de produção brasileiro, apoio aos produtores e técnicos, extensão tecnológica darão preços mais estáveis, maior oferta de produtos e tecnologias e aumento de produtividade.

Em resposta a esse cenário, instituiu-se o Grupo de Trabalho Interministerial com a finalidade de desenvolver o Plano Nacional de Fertilizantes (GTI-PNF), visando fortalecer políticas de incremento da competitividade da produção e da distribuição de fertilizantes no Brasil de forma sustentável - Decreto no 10.605, de 22 de janeiro de 2021. Dentre as diretrizes do plano estão: estimular a pesquisa e exploração de fontes naturais; possibilitar a competição entre diferentes fontes e origens de matérias-primas; difundir e incentivar a adoção de boas práticas de produção de fertilizantes e práticas agropecuárias sustentáveis, promovendo a exploração sustentável do ecossistema e minimizando o impacto ambiental; e diversificar e promover o desenvolvimento de novas fontes de nutrientes para a agropecuária.

Por fim, as rochas fosfatadas, especialmente as apatitas, são amplamente utilizadas como matéria-prima na fabricação de fertilizantes fosfatados, devido à sua importância no suprimento de fósforo essencial para as plantas (INUI, 2009). A utilização dos fosfatos naturais na forma bruta pode ser limitada devido à sua baixa solubilidade, sendo mais comum sua mistura com fertilizantes solúveis devido à lenta solubilização no solo (INUI, 2009). No



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

entanto, a produção de fertilizantes fosfatados solúveis, como superfosfatos e termofosfatos, requer um elevado gasto de energia. Nesse cenário, é necessário estabelecer estratégias para o uso eficiente e econômico das rochas fosfatadas.

A eficiência agronômica dos fosfatos depende de vários fatores, como: (i) características químicas e físicas do solo; (ii) propriedades do solo; (iii) clima; e (iv) cultura. Assim, dependendo da origem e da reatividade da rocha, bem como das condições edafoclimáticas, a liberação do P presente nos fosfatos de rocha pode ser adequada ou não em relação à cultura (OLIVEIRA JUNIOR, 2007). Portanto, o grau de moagem do fosfato, o modo de aplicação e sua incorporação ao solo assumem grande importância.

No contexto da agricultura moderna, a busca por fontes alternativas de fósforo ganha destaque como uma necessidade urgente e estratégica. Tradicionalmente, fontes convencionais, como apatita e fosfatos de rocha, têm sido usadas para suplementar o fósforo no solo. No entanto, o aumento da demanda global por fertilizantes e a crescente preocupação com a sustentabilidade agrícola têm impulsionado a investigação e o desenvolvimento de novas opções.

As fontes alternativas, como fertilizantes orgânicos, reciclagem de nutrientes e fosfatos de osso, representam produtos de escolha entre as fontes tradicionais, oferecendo não apenas uma diversificação nos métodos de fornecimento de fósforo, mas também impactos econômicos e ambientais distintos. A adoção dessas alternativas pode influenciar significativamente os custos de produção agrícola, tanto em termos de aquisição quanto de aplicação de fertilizantes. Além disso, os benefícios econômicos associados à redução da dependência de fontes não renováveis de fósforo e à criação de novas oportunidades de negócios na indústria de reciclagem de nutrientes são aspectos importantes a serem considerados. Em termos ambientais, a escolha entre fontes tradicionais e alternativas pode ter implicações significativas na qualidade do solo, na saúde dos ecossistemas aquáticos e na mitigação da poluição. Portanto, uma análise abrangente dos impactos econômicos e ambientais é essencial para orientar a transição para práticas agrícolas mais sustentáveis e resilientes.

Dentre as opções de alternativas de fertilizante fosfatados tem-se o Arkophos, fertilizante produzido pela empresa Arko Fertilizantes S.A. Fertilizante fosfatado de liberação segmentada, ou seja, seu conteúdo de P total (15%) é disponibilizado de forma parcelada possibilitando uma distribuição linear do nutriente durante o ciclo da cultura, o que pode reduzir



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

a fixação de P nos solos, promovendo seu melhor aproveitamento e consequentemente, aumento da eficiência agrônômica (TALITA, 2023). Esta eficiência está associada principalmente ao fato de ser um fertilizante que por apresentar sua disponibilidade ao longo do tempo pode ser utilizado seu efeito residual em safras posteriores à aplicação e também de reduzir o excesso de aplicações.

Dentre os potenciais benefícios do produto estão a sua composição multinutriente (além de P, possui Ca e S); reduz a fixação de P no solo, devido sua disponibilidade segmentada; aumenta a concentração de cálcio (Ca) em profundidade; reduz a adsorção específica e diminui a retrogradação. Pode ser uma alternativa e também uma redução a importação de fertilizantes fosfatados. Indo de encontro ao incremento da competitividade da produção e da distribuição de fertilizantes no Brasil de forma sustentável.

2.4 PROCESSO ARKOPHOS

A Arko Fertilizantes, concebida em 2019 sob a direção do CEO Felipe Brito, surge com a proposta de reutilizar os resíduos gerados no processo de produção de fertilizantes industriais. A filosofia da Arko está fundamentada na ideia de "minerar nutrientes", isto é, aproveitar os subprodutos gerados durante a fabricação de fertilizantes fosfatados eficientemente, como superfosfato simples e MAP, para transformá-los em fertilizantes de elevada eficácia (TALITA, 2023).

Entre os produtos desenvolvidos pela empresa destaca-se o Arkophos, que apresenta uma composição diferenciada: 15% de P_2O_5 total, sendo 7% de P_2O_5 solúvel em CNA (Citrato Neutro de Amônio) + água, 15% de cálcio total (Ca) e 3% de enxofre total (S). Essa formulação confere ao produto alta eficiência, permitindo sua aplicação tanto na correção quanto na manutenção da fertilidade do solo, atendendo a diferentes demandas no manejo agrícola.

Além disso, a empresa lançou em 2021 o projeto Black Bio, que complementa sua linha de produtos e reflete seu compromisso com a sustentabilidade. No ano de 2020, a Arko consolidou sua presença no mercado, firmando uma parceria estratégica com a Mosaic, e tornando-se seu principal fornecedor de matéria-prima. Atualmente, a empresa mantém colaborações com diversas organizações renomadas, como Yara, EuroChem e Mosaic.

Por exemplo, em testes de campo, o Arkophos demonstrou um aumento de 20% na



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

produtividade de culturas de milho em comparação com fertilizantes convencionais. Além disso, a empresa lançou em 2021 o projeto Black Bio, que complementa sua linha de produtos e reflete seu compromisso com a sustentabilidade. Desenvolvido com base nos princípios de economia circular e sustentabilidade, o Black Bio contribui para a melhoria da qualidade física, química e biológica do solo. Ele promove a retenção de água, a capacidade de troca catiônica (CTC), e a fixação biológica de nitrogênio, além de aumentar a atividade enzimática e proteger as plantas contra estresses ambientais.

A base do Black Bio é composta por substâncias húmicas, que desempenham papel essencial na estabilização do carbono orgânico no solo. Esses complexos de moléculas promovem melhor agregação das partículas do solo, diminuindo a compactação e aumentando a permeabilidade, o que resulta em solos mais sonoros e produtivos. Essas inovações não apenas atendem à demanda por fertilizantes mais eficazes, mas também abordam questões cruciais de sustentabilidade na agricultura. Como resultado, o uso do produto não apenas aumenta a eficiência agrônômica de fertilizantes minerais, como o fósforo, mas também potencializa a recuperação de terras degradadas, consolidando-se como uma solução sustentável para a agricultura moderna.

Finalmente, em 2023, a Arko consolidou sua posição no mercado com a inauguração da fábrica do Black Bio e o início da construção de sua nova filial em Uberaba, Minas Gerais, reafirmando seu compromisso com a inovação, a sustentabilidade e a eficiência agrícola.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA EXPERIMENTAL

O objetivo deste experimento foi avaliar a eficiência do fertilizante Arkophos em diferentes cultivos, conduzido em uma área experimental localizada em São João da Paraúna – GO, precisamente na estação de pesquisa da empresa Otimiza, a latitude de 16° 45' 15.3" S e longitude de 50° 20' 55.8" W, e à 611 metros de altitude. As informações granulométricas e de fertilidade básica da área experimental, previamente à aplicação dos tratamentos, estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Análise de solo inicial da área experimental – Fazenda Cabeleira e Invernada, São João da Paraúna-GO, agosto de 2021.

Prof	pH	P- Mch	Sat Al	V	CTC	S	K	Ca
------	----	--------	--------	---	-----	---	---	----



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

(cm)	(CaCl ₂)	mg.dm ⁻³	%	%	cmolc.dm ⁻³	mg.dm ⁻³	cmolc.dm ⁻³	cmolc.dm ⁻³
0-20	5,90	3,70	0,00	73,00	8,30	4,90	0,40	4,59
20-40	4,90	0,90	4,20	39,40	6,90	13,10	0,13	1,94
Prof	Mg	Al	H+Al	B	Cu	Fe	Mn	Zn
(cm)	cmolc.dm ⁻³			mg.dm ⁻³				
0-20	1,07	0,00	2,20	0,23	1,20	20,20	21,50	2,10
20-40	0,65	0,12	4,20	0,22	1,70	24,60	20,70	0,40
Prof	Sat K	Sat Ca	Sat Mg	Ca/K	Mg/K	Argila	Silte	Areia
(cm)	%							
0-20	4,80	55,30	12,90	11,50	2,70	43	5,0	52
20-40	1,90	28,10	9,40	28,10	5,00	50,5	5,00	44,5

O clima na região do experimento enquadra-se na tipologia Aw, caracterizada por clima tropical com estação seca de inverno. As informações pluviométricas e de temperatura média – durante o período de experimentação – foram registradas pela estação meteorológica do INMET em São João de Paraúna, localizada em Paraúna – GO, e estão apresentadas na Figura 1.

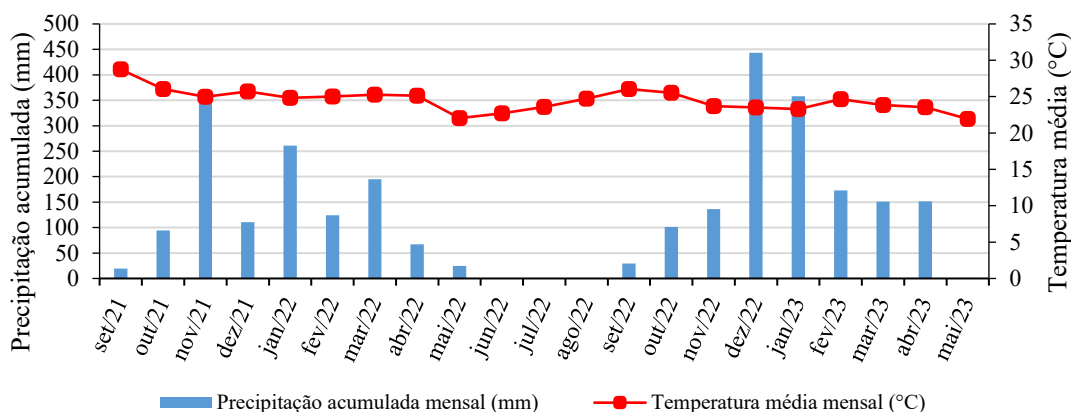


Figura 1. Precipitação acumulada temperatura média mensal durante o período de condução do experimento. Paraúna – GO (INMET).

3.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento consistiu em três cultivos subsequentes: soja na safra 2021/2022, sorgo granífero na safra 2022 e soja na safra 2022/23. O delineamento foi em bloco casualizado em esquema fatorial 2 x 4 + 1 sendo, dois manejos de adubação fosfatado com o fertilizante Arkophos (fosfatagem corretiva e adubação de manutenção/plantio) com quatro doses (0, 1000, 2000 e 3000 kg ha⁻¹) mais um tratamento adicional com o MAP em adubação corretiva e de



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

manutenção (274,5 + 392,2 kg ha⁻¹ de MAP, respectivamente). No tratamento com a aplicação do Arkophos em adubação de manutenção/plantio, foi utilizado a aplicação do MAP em correção na dose de 274,5 kg ha⁻¹, com exceção da dose 0 do Arkophos que foi aplicado 392,2 kg ha⁻¹ de MAP. Os tratamentos com fosfatagem corretiva a aplicação do fertilizante foi realizada antes da semeadura a lanço em área total e incorporado com grade com discos de 28". A adubação de manutenção/plantio foi realizada a lanço no momento do plantio.

Todos os tratamentos foram aplicados no plantio da soja 2021/2022 e do sorgo granífero na safra 2022, mantendo-se as mesmas unidades experimentais (parcelas). A partir desse ponto, avaliou-se apenas o efeito residual das aplicações, sem realizar aplicações adicionais anuais de P, conforme detalhado na Tabela 2.

Tabela 2. Tratamentos, produtos, épocas e doses aplicadas no experimento.

Nº do tratamento	Momento de aplicação	Tratamento	Dose do produto comercial	Concentração de P ₂ O ₅ (%)*	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Objetivo de aplicação
1	-	Controle	-	-	-	-
2	A	Arkophos Liber	1000	10	100	Correção
3	A	Arkophos Liber	2000	10	200	Correção
4	A	Arkophos Liber	3000	10	300	Correção
5	A/B	MAP + Arkophos	274,5 + 1000	51/10	140 + 100	Manutenção
6	A/B	MAP + Arkophos	274,5 + 2000	51/10	140 + 200	Manutenção
7	A/B	MAP + Arkophos	274,5 + 3000	51/10	140 + 300	Manutenção
8	A	MAP	392,2	51	200	Correção
9	A/B	MAP+MAP	274,5 + 392,2	51/51	140 + 200	Manutenção

A – Correção incorporada com grade de 28"; B – manutenção superficial a lanço, *teor de P₂O₅ solúvel em ácido cítrico e clorídrico no fertilizante.

3.3. INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Todos os cultivos do ensaio foram conduzidos em sistema de plantio direto na palha. Para o primeiro cultivo, foi semeada a cultivar BMX Bônus IPRO em 10/11/2021, no espaçamento de 0,5 m, com uma população desejada de 280 mil plantas por hectare. A emergência foi observada em 16/11/2021 e a colheita realizada em 15/03/2022. Para o cultivo do sorgo, em subsequência, foi utilizado o híbrido LG100, material representativo para a região do estudo. A semeadura foi realizada em 16/03/2022, no espaçamento de 0,5 m, e a colheita foi realizada em 15/07/2022.

No segundo ano de experimentação, utilizou-se a cultivar CZ37B43, cuja semeadura foi



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

realizada em 26/11/2022, no espaçamento de 0,5 m, com uma população desejada de 300 mil plantas por hectare. Os tratos culturais foram realizados de acordo com os recomendados para as culturas, procedendo ao controle de pragas e doenças sem deixar que estas influenciassem no desenvolvimento de cada cultura.

3.4. AVALIAÇÕES

3.4.1 NA CULTURA DA SOJA

As avaliações realizadas nas duas safras de soja incluíram a determinação do teor de P nas folhas amostradas em R2 (floração plena), além da altura das plantas, medida como a distância do solo ao meristema apical em 10 plantas selecionadas aleatoriamente na área útil de cada parcela, durante o estágio R5. Para analisar o impacto dos fertilizantes nos caracteres reprodutivos, foram avaliados o número de entrenós, o número de vagens por planta, a massa de mil grãos e a produtividade final de grãos, expressa em kg ha^{-1} , com todos os valores corrigidos para uma umidade padrão de 13%. A colheita foi realizada de forma mecanizada com uma colhedora de parcelas.

3.4.2. NA CULTURA DO SORGO GRANÍFERO

No cultivo de sorgo, determinou-se a altura das plantas, representando a distância do solo até o início da panícula, em 10 plantas selecionadas na área útil de cada parcela e por ocasião de pré-colheita da cultura. O diâmetro do colmo foi medido na região mediana de 10 plantas, utilizando um paquímetro. Dentre os componentes de produção, avaliou-se a massa de mil grãos e a produtividade final de grãos, calculada em kg ha^{-1} , com os valores corrigidos para uma umidade padrão de 13%. A colheita foi realizada de forma mecanizada, com o uso de uma colhedora de parcelas, garantindo eficiência, padronização e confiabilidade na coleta de dados.

3.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) para determinar diferenças significativas entre os tratamentos de manejo da adubação fosfatada. Para variáveis



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

dependentes, como o número de vagens por planta, os dados foram transformados utilizando a fórmula $\sqrt{(2x + 0,5)}$ para atender às pressuposições da análise estatística (BANZATTO; KRONKA, 2006). A comparação dos tratamentos com o adicional (Controle) foi realizada mediante teste de Dunnett. Todas as análises estatísticas foram realizadas no software R (R CORE TEAM, 2024), utilizando o pacote Tratamentos.ad (AZEVEDO, 2022) e com auxílio do programa AgroStat (BARBOSA; MALDONADO JÚNIOR, 2020). Quando descobertas diferenças significativas pelo teste F, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey, adotando-se um nível de significância de 5%.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tratamentos com Arkophos Liber na modalidade de correção incorporada com grade de 28” apresentaram produtividade de grãos de soja semelhante à obtida com o uso de MAP na dose de 200 kg de P_2O_5 ha⁻¹, evidenciando seu potencial como alternativa viável na adubação fosfatada, desde que corretamente incorporado ao solo e utilizado na dose adequada (Tabela 4).

Por outro lado, quando aplicado em manutenção superficial a lanço, o Arkophos Liber demonstrou melhor eficiência na dose de 3000 ha⁻¹, resultando em um incremento de 4,43 sacas por hectare em relação ao controle. Esse resultado destaca a importância da escolha adequada da dose e do método de aplicação para melhorar a eficiência do produto (Tabela 4).

A produtividade da safra 2021/2022 na cultura da soja foi influenciada pelas diferentes estratégias de adubação. As aplicações do Arkophos Liber, realizadas após a correção parcial com MAP, resultaram maiores produtividades quando comparadas às obtidas com a correção incorporada exclusivamente com Arkophos Liber (Tabela 4). Esse resultado sugere que, em determinadas condições, uma combinação de diferentes fontes de P pode ser mais eficiente do que uma aplicação isolada de um único fertilizante.

Na modalidade de correção incorporada, o Arkophos Liber apresentou produtividade de grãos semelhante ao MAP, especialmente quando ambos os fertilizantes foram aplicados e incorporados com grade de 28”. Esse desempenho indica que o Arkophos Liber pode ser uma alternativa ao MAP, considerado o padrão do mercado, quando aplicado em condições semelhantes de incorporação.

Os resultados confirmam o potencial do Arkophos Liber como alternativa viável ao MAP, especialmente em solos corrigidos. No entanto, ressaltamos a importância de se



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

considerar a modalidade de aplicação e a dose do fertilizante para maximizar a eficiência agronômica. Estudos futuros são recomendados para identificar as condições em que o Arkophos Liber pode oferecer vantagens importantes em relação ao MAP.

Tabela 4 Produtividade de grãos (PROD) e teor foliar de fósforo (P foliar) em soja em função de manejos de adubação fosfatada. São João da Paraúna, GO, safra 2021/2022.

Tratamentos				PROD	P (foliar)
N.	Aplicação	Produto(s)	Dose		
			kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹
1	-	Controle	-	4,164b***	4,52
2	A*	Arkophos Liber	1000	4,572a	4,55
3	A	Arkophos Liber	2000	4,588a	4,58
4	A	Arkophos Liber	3000	4,739a	4,75
5	A/B**	MAP/ Arkophos Liber	274,5/ 1000	4,291b	4,60
6	A/B	MAP/ Arkophos Liber	274,5/ 2000	4,430b	4,60
7	A/B	MAP/ Arkophos Liber	274,5/ 3000	4,537a	4,77
8	A	MAP	392,2	4,568a	4,65
9	A/B	MAP/ MAP	274,5/ 392,2	4,714a	4,65
Coeficiente de variação (%):				5,95	2,27
Média geral:				4,63	4,57

* A – corretiva incorporada; ** B – manutenção (superficial);

*** Médias seguidas por letras diferentes, dentro de cada coluna, diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($P > 0,05$).

Os tratamentos aplicados na modalidade de correção resultaram em produtividade de grãos de soja superior ao tratamento controle (T1), que obteve 4.164 kg ha⁻¹. Por outro lado, os tratamentos Arkophos Liber aplicados em manutenção superficial nas doses de 1.000 ha⁻¹ (T5) e 2.000 ha⁻¹ (T6) resultaram em produtividades de 4.291 ha⁻¹ e 4.430 ha⁻¹, respectivamente, sendo considerados estatisticamente iguais ao tratamento controle (T1) (Tabela 4). Esses resultados reforçam a importância do método de aplicação para maximizar a eficiência do fertilizante e garantir maiores produtividades.

Como já esperado, devido ao nível de P no solo no início do estudo estar baixo – conforme manual de adubação Cerrados (2004), quando não aplicado o nutriente, a produtividade de soja foi inferior aos demais tratamentos.

Na cultura da soja, durante a safra 2021/2022, na modalidade de manutenção superficial, ou seja, sem incorporação, as aplicações de 1000 ha⁻¹ e 2000 ha⁻¹ de Arkophos não resultaram em aumentos significativos na produtividade de grãos. No entanto, ao aplicar 3000 ha⁻¹ do



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

produto (T7), observou-se incremento produtivo de 4,43 sacas por hectare em comparação ao tratamento controle T1 (Tabela 4).

Conforme resumo dos dados da análise de variância (Tabela 5), as avaliações da produtividade do sorgo, da produtividade do sistema sorgo-soja (safra 2021/22) e do teor de P no solo foram estatisticamente significativas ao nível de 5% de probabilidade. No entanto, as demais variáveis verificadas não tiveram significância estatística (Tabela 5).

Tabela 5 Resumo ANAVA (Fcalc + CV) para as avaliações de peso de mil grãos (PMG), produtividade de sorgo (PROD sorgo) e produtividade do sistema soja sorgo (PROD sistema) – São João da Paraúna - GO 2022.

Fonte de variação	G.L.	PMG	PROD (sorgo)	PROD (sistema)
	-	g kg ⁻¹	Kg kg ⁻¹	Kg kg ⁻¹
Tratamento	8	1,04ns	3,72**	6,16**
Bloco	3	0,0471ns	1,33ns	2,88ns
CV	-	15,77	17,60	5,17

NS – Não significativo pelo teste f; * significativo pelo teste f a nível de 5% de probabilidade; ** significativo pelo teste f a nível de 1% de probabilidade

As variáveis altura de plantas, diâmetro de colmo, altura de inserção da panícula e peso de mil grãos não foram afetadas pelos tratamentos propostos (Tabela 6).

Tabela 6 Produtividade de sorgo (PROD) e produtividade do sistema soja-sorgo (PROD sistema) em kg ha⁻¹ em função da segunda safra de 2022 – São João da Paraúna, GO.

Tratamentos				PROD	PROD (Sistema)
N.	Aplicação	Produto(s)	Dose		
			kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	Kg kg ⁻¹
1	-	Controle	-	1339,33b	5503,14c
2	A*	Arkophos Liber	1000	1304,60b	5876,74b
3	A	Arkophos Liber	2000	1600,55b	6189,01b
4	A	Arkophos Liber	3000	1659,39b	6398,33a
5	A/B**	MAP/ Arkophos Liber	274,5/ 1000	1789,61a	6080,60b
6	A/B	MAP/ Arkophos Liber	274,5/ 2000	2036,85a	6467,53a
7	A/B	MAP/ Arkophos Liber	274,5/ 3000	2160,93a	6698,19a
8	A	MAP	392,2	1959,35a	6707,67a
9	A/B	MAP/ MAP	274,5/ 392,2	1842,58a	6556,76a
Coeficiente de variação (%):				15,77	5,17
Média geral:				17,18	6275,33

Legenda Época de Aplicação (E.A.): A – corretiva incorporada; B – manutenção; P (solo) – análise de solo para fósforo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott (P > 0,05).



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ao analisar as produtividades do sistema, ou seja, a produtividade acumulada de soja cultivada no ano agrícola 2021-2022 e de sorgo em 2022, observa-se que a maior dose de Arkophos Liber (3000kg ha^{-1}) aplicada em correção incorporada apresentou resultados estatisticamente semelhantes às doses de 2000 e 3000kg ha^{-1} em manutenção superficial. Os tratamentos com aplicação de MAP em correção incorporada e manutenção a lanço na dose de $392,2\text{kg ha}^{-1}$ também tiveram entre os maiores patamares de produtividade (Tabela 6).

Por outro lado, ao observar as produtividades dos tratamentos com Arkophos Liber em correção incorporada em todas as doses ($1000, 2000, 3000\text{kg ha}^{-1}$) e o tratamento controle (0kg ha^{-1}), as produtividades foram inferiores às obtidas nos demais tratamentos avaliados.

Os teores de P no solo foram alterados conforme o tratamento proposto. No entanto, os valores obtidos na camada de 0–20 cm ($3,70\text{ mg dm}^{-3}$), extraídos pelo método Mehlich-1, são classificados como muito baixos, considerando o teor de argila de 43% da amostra, conforme o *Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Cerrado* (Sousa et al., 1987a). Essa condição pode comprometer o desenvolvimento e a produtividade da cultura, tornando necessária a correção fosfatada.

Nesse sentido, a condução de novos cultivos na mesma área torna-se imprescindível, a fim de avaliar a capacidade de suprimento e a dinâmica de liberação do P para os cultivos subsequentes em curto, médio e longo prazo.

Os resultados médios na tabela de análise de variância (tabela 3), apontam ausência de efeito significativo para as avaliações de altura de plantas, P foliar, número de entre nós produtivos, número total de vagens por planta, massa de cem grãos e produtividade de grãos.

Tabela 7 Resumo ANAVA ($F_{\text{calc}} + \text{CV}$), para as avaliações de estande de plantas (EP), altura de plantas (AP), número de entre nós produtivos (NENR), fósforo foliar (P), número total de vagens por planta (NVT), massa de cem grãos em gramas (MCG), e produtividade (PROD). São João da Paraúna/GO, safra 2022/2023.

Fonte de variação	G.L.	EP	AP	NENR	P	NVT	MCG	PROD
	-	g kg^{-1}	Cm	mg kg^{-1}	g kg^{-1}	g kg^{-1}	g planta^{-1}	Kg kg^{-1}
Tratamento	8	0,7566ns	0,5593ns	0,4293ns	0,6120ns	0,6700ns	0,6315ns	0,8651ns
Bloco	3	0,0471ns	0,0372ns	0,0616ns	0,8577ns	0,0060ns	0,3633ns	0,0023ns
CV	-	8,31	5,75	7,14	6,21	10,84	7,26	9,77

G.L.: graus de liberdade; ns – não significativo pelo teste F; * significativo pelo teste F a nível de 5% de probabilidade; ** significativo pelo teste F, a nível de 5% de probabilidade; CV: coeficiente de variação.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Os diferentes manejos de adubação fosfatada não resultaram em diferenças na produtividade da cultura do sorgo, conforme evidenciado pelo teste Scott-Knott ($P > 0,05$). Apesar de pequenas variações numéricas entre os tratamentos, a análise sugere que a disponibilidade de P no solo pode ter sido suficiente para atender à demanda da cultura, minimizando o efeito da adubação fosfatada. Além disso, fatores climáticos podem ter influenciado a absorção e o aproveitamento dos nutrientes, reduzindo os possíveis benefícios da adubação. A ausência de um efeito residual expressivo do P também reforça a necessidade de avaliar estratégias de adubação baseadas na fertilidade inicial do solo, evitando aplicações excessivas e promovendo um manejo mais eficiente e sustentável.

A análise foliar de P (Tabela 8), realizada na safra 2022/2023 durante o cultivo da soja, não apresentou variações significativas entre os tratamentos avaliados, com concentrações variando entre 4,15 e 4,53 g kg⁻¹. Esse resultado sugere que a absorção do nutriente pelas plantas foi semelhante, independentemente da fonte fosfatada utilizada (Arkophos Liber ou MAP). Embora os níveis foliares tenham se mantido próximos, o tratamento com a combinação de MAP e Arkophos Liber na dose de 1000 kg ha⁻¹ (tratamento 5) apresentou o maior rendimento produtivo, atingindo 3684,84 kg ha⁻¹. Já o uso isolado de Arkophos Liber na dose de 1000 kg ha⁻¹ (tratamento 2) resultou em produtividade ligeiramente superior à do tratamento com MAP isolado, embora sem diferença estatística significativa entre os dois.

Esses resultados ressaltam a importância de considerar a fertilidade inicial do solo e as condições específicas da área antes de definir estratégias de adubação. A recomendação de P deve ser baseada em um diagnóstico detalhado, evitando aplicações desnecessárias e garantindo um manejo mais eficiente e economicamente viável para os produtores. As alturas das plantas foram medidas utilizando uma régua graduada, registrando a altura média de 10 plantas por parcela. Contudo, cabe ao profissional responsável pela recomendação interpretar melhor as condições do ambiente de produção, como a fertilidade do solo, para determinar uma estratégia de aplicação mais adequada.

Tabela 8 Média dos resultados das avaliações de fósforo foliar (P) e produtividade (PROD) na safra 2022/2023, em São João da Paraúna/GO.

Tratamentos				PROD	P (foliar)
N.	Aplicação	Produto(s)	Dose		
			kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹
1	-	Controle	-	3332,47	4,27



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

2	A*	Arkophos Liber	1000	3544,96	4,15
3	A	Arkophos Liber	2000	3464,09	4,23
4	A	Arkophos Liber	3000	3371,98	4,30
5	A/B**	MAP/ Arkophos Liber	274,5/ 1000	3684,84	4,45
6	A/B	MAP/ Arkophos Liber	274,5/ 2000	3642,21	4,32
7	A/B	MAP/ Arkophos Liber	274,5/ 3000	3602,21	4,53
8	A	MAP	392,2	3522,86	4,43
9	A/B	MAP/ MAP	274,5/ 392,2	3482,90	4,42
Coeficiente de variação (%):				10,3	1,10
Média geral:				3641,72	4,26

¹ Legenda: A – corretiva incorporada; B – manutenção; P – análise foliar de fósforo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($P > 0,05$).

5. CONCLUSÃO

Na modalidade de correção incorporada, via grade de 28", os tratamentos com Arkophos Liber demonstraram desempenho similar ao MAP em termos de produtividade de grãos de soja. Já na aplicação a lanço para manutenção, somente a maior dose testada (3000 kg ha⁻¹, correspondendo a 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅) apresentou eficiência equivalente, reforçando a relevância da escolha da dose adequada para maximizar os benefícios agrônômicos.

Os teores de P no solo permaneceram dentro da faixa considerada adequada em todos os tratamentos. Isso indica a necessidade de estudos adicionais para avaliar os efeitos de longo prazo e a dinâmica do P no solo sob diferentes estratégias de manejo. Futuras análises, incluindo novos cultivos e avaliações da disponibilidade de P após o cultivo de sorgo, serão fundamentais para consolidar os resultados deste estudo e aprimorar as recomendações para o melhor posicionamento de Arkophos Liber.

Em linhas gerais, este estudo contribui para compreender o comportamento do Arkophos Liber em diferentes modalidades de aplicação, reforçando seu potencial como alternativa ao MAP, especialmente na manutenção superficial em solos parcialmente corrigidos. Entretanto, é evidente a importância de novos experimentos em diferentes condições edafoclimáticas para validar e ampliar as conclusões obtidas.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

REFERÊNCIAS

- ASSUNÇÃO, S. A. **Caracterização química e funcional da matéria orgânica do solo e frações e formas de fósforo em diferentes sistemas de uso do solo.** – Seropédica, RJ, 2020. 60 f.: il. Tese (Doutorado). – – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, 2020.
- BRAGA, NR; RECO, PC; GALO, PB; MIRANDA, MAC; MASCARENHAS, HAA **Adubação fosfatada para culturas anuais em solos tropicais.** Campinas, SP: Instituto Agrônomo (IAC), 2014. (Boletim Técnico, 200).
- BARBOSA, J.C.; MALDONADO JÚNIOR. **Sistemas para análises estatísticas de ensaios agrônômicos (AgroEstat)** Jaboticabal: Câmpus de Jaboticabal. 2015.
- BASAK, B. B. Evaluation of Indian rock phosphates for predicting agronomic potential through chemical and biological methods. **Archives of Agronomy and Soil Science.** V.11, n.5, 2009
- BATISTELLA, F., et al. Adubação com fósforo e potássio para produção e qualidade de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, n.22, 2013.
- INUI, R. N. Isolamento e identificação de bactérias solubilizadoras de fósforo e produtoras de auxinas em solo com cana-de-açúcar. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2009.
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde.** Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.
- LEITE, J. N. F., et al. Frações orgânicas e inorgânicas do fósforo no solo influenciadas por plantas de cobertura e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.4, 2016
- MACHADO, B. A. **Reações do fósforo no solo e práticas para minimizar efeitos.** 2021. Disponível em: <https://agroadvance.com.br/blog-reacoes-do-fosforo-no-solo-e-praticas/> Acessado em: 12 de novembro de 2023.
- MACHADO, A. W. **Tudo que você precisa saber sobre fosfato natural.** 2022. AGROLINK. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/adubo---fosfato-natural_465374.html. Acessado em: 15 de novembro de 2023.
- MARTINAZZO, R. et al. Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto afetado pela adição de fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.3, p.563-568, 2007.
- MONTEIRO, M. C. H.; DUARTE, A. C. Sustentabilidade da fertilização fosfatada: fontes alternativas de fósforo como fertilizantes agrícolas. **Agrárias: pesquisa e inovação nas ciências que alimentam o mundo VII**, v. 7, p. 1-14, 2021.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

NASCENTE, A. S., et al. Produtividade do feijoeiro comum afetada por fontes de fósforo com ou sem cálcio. **Revista de Ciências Agrárias**, v.57, n.2, 2014

NOVAIS, F.R.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999.

NOVAIS, R. F.; et al. Fertilidade do Solo. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.11, n.2, 2007.

NUNES, R. D. S., et al. Distribuição de fósforo no solo em razão do sistema de cultivo e manejo da adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.8, 2011

OLIVEIRA JUNIOR, Adilson de. **Eficiência agrônômica de fosfatos de rocha, utilizados isoladamente ou associados ao superfosfato triplo, para a cultura da soja**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

RHEINHEIMER, D.S; ANGHINONI, I. Accumulation of soil organic phosphorus by soil tillage and cropping systems in subtropical soils. **Communications in Soil Science**, v.7, n.1, 2003

SANTOS, D. R. D., et al. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.38, n.1, 2008.

SOUZA, R. F. D., et al. Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.7, 2006.

Balanço Mineral – **Edições 1988 e 2001** – DNPM / MME – Brasília – Texto FOSFATO.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

**ANEXO 1 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS CULTIVOS DE SOJA
2021/22, SORGO 2022 E SOJA 2022/23**

Tabela 1. Análise de variância e valores médios para os testes de distância de entrenó, número de vagens, altura de planta, P na folha, massa de mil grãos e produtividade em função de fontes de P aplicadas no primeiro cultivo de soja 2021/22.

Parâmetros avaliados	Fator de variação	C.V. (%)	Média
	F (Trat.)	Soja 2021/22	Soja 2021/22
Distância de entrenó (cm)	0,79 ^{ns}	6,14	15,17
Número de vagens	2,57*	7,12	59,46
Altura de planta (cm)	2,29 ^{ns}	2,09	112,88
P na folha (g.kg ⁻¹)	0,37 ^{ns}	5,95	4,62
Massa de mil grãos (g)	8,94**	2,88	208,32
Produtividade (kg.ha ⁻¹)	6,49**	3,52	4.530,0

^{ns} = não significativo, * significativo a 5% e ** significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. CV: coeficiente de variação em porcentagem.

Tabela 2. Análise de variância e valores médios para os testes de altura de plantas (cm); diâmetro colmo (cm), altura de panícula (cm), massa de mil grãos (g) e produtividade (kg.ha⁻¹) em função de fontes de P aplicadas em sorgo 2022.

Parâmetros avaliados	Fator de variação	C.V. (%)	Média
	Tratamento		
Altura de planta (cm)	2,70*	4,76	87,16
Diâmetro do colmo (cm)	2,11 ^{ns}	5,13	1,53
Altura de panícula (cm)	0,47 ^{ns}	5,67	20,79
Massa de mil grãos (g)	1,04 ^{ns}	15,76	17,17
Produtividade (kg.ha ⁻¹)	3,73**	1.056,0	1.743,6

ns = não significativo, * significativo a 5% e ** significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. CV: coeficiente de variação em porcentagem.



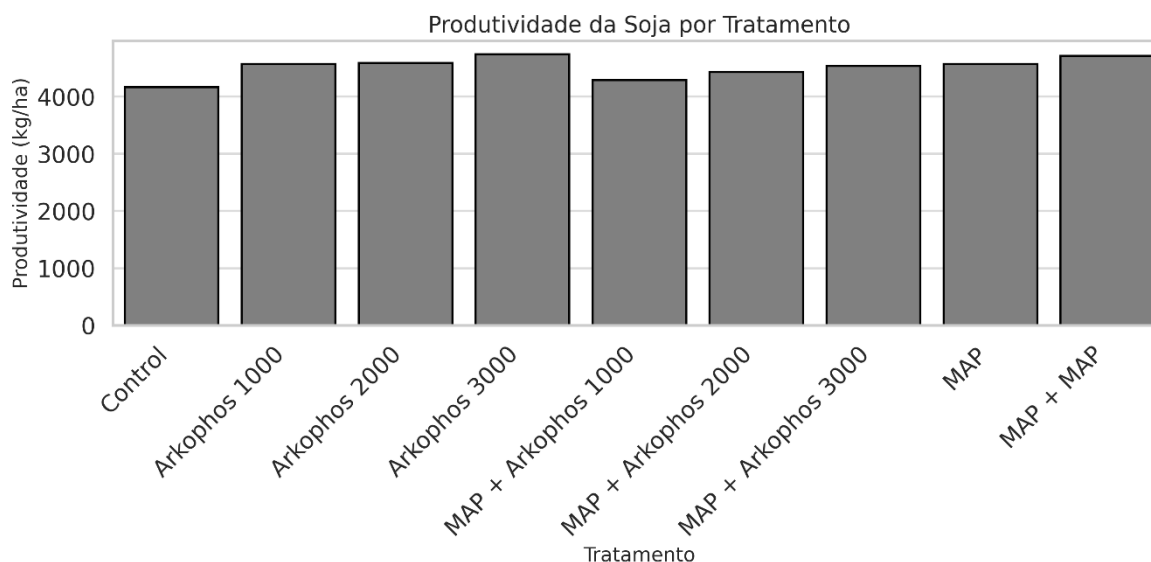
SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Tabela 3. Análise de variância e valores médios para os testes de distância de entrenó, número de vagens, altura de planta, P na folha, massa de mil grãos e produtividade em função de fontes de P aplicadas em cultivo de soja 2022/23.

Parâmetros avaliados	Fator de variação	C.V. (%)	Média
	F (Trat.)	Soja 2022/23	Soja 2022/23
Distância de entrenó (cm)	1,05 ^{ns}	7,13	11,70
Número de vagens	0,72 ^{ns}	10,83	33,61
Altura de planta (cm)	0,86 ^{ns}	5,74	73,15
P na folha (g.kg ⁻¹)	0,80 ^{ns}	6,21	4,34
Massa de mil grãos (g)	0,77 ^{ns}	7,25	144,69
Produtividade (kg.ha ⁻¹)	0,47 ^{ns}	9,76	3.516,0

^{ns} = não significativo, * significativo a 5% e ** significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. CV: coeficiente de variação em porcentagem.

Gráfico 1. Produtividade da Soja por Tratamento





SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Gráfico 2. Produtividade do Sorgo por Tratamento

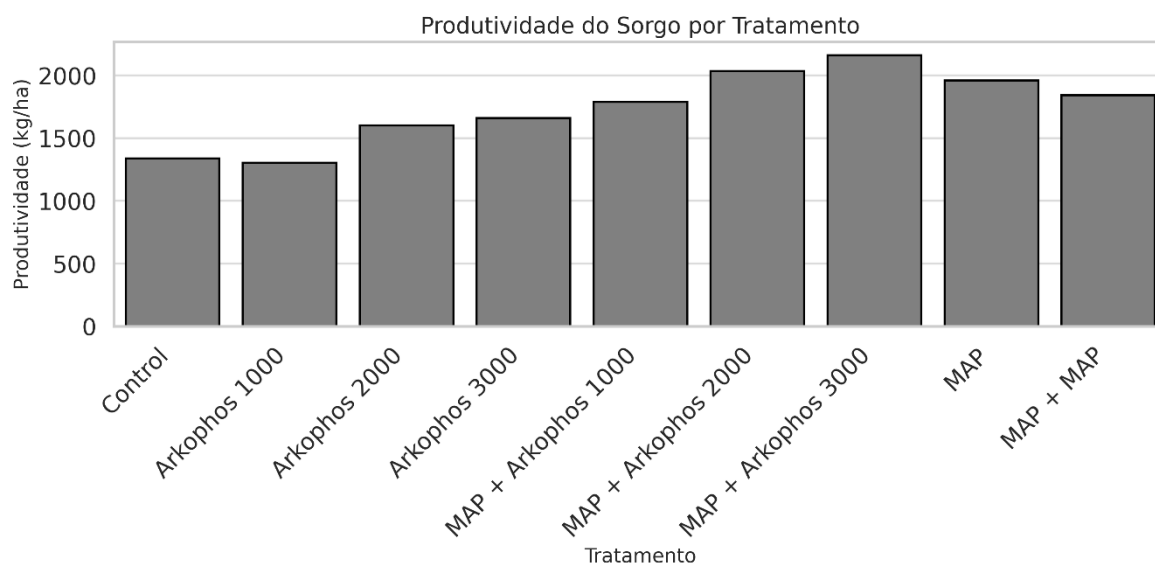


Gráfico 3. Teor de Fósforo Foliar por Tratamento

